

## Квазиклассическое описание излучения электрона в графене

Лазаренко Георгий Юрьевич

Томский государственный университет

Казинский Пётр Олегович

[lazarenko.georgij@icloud.com](mailto:lazarenko.georgij@icloud.com)

Графен является базой для построения теории графита и других аллотропов углерода. По мимо этого, данный материал имеет собственный интерес как с чисто теоретической точки зрения за счёт линейного закона дисперсии у электронов, так и практический- за счёт рекордной подвижности заряда среди существующих материалов, что делает его возможной заменой кремнию в нанoeлектронике. Целью данной работы является описание динамики и излучения электрона в графене в присутствии постоянного электромагнитного поля.

Хотя по тематике данного материала имеется масса публикаций, где его изучают с точки зрения квантовой механики или же квантовой электродинамики. Но данный подход является уникальным и имеет ряд преимуществ: относительная простота расчётов, возможность получить явные выражения для координат и импульсов частицы, а так же получение полного излучения (2) вместо однофотонного излучения.

Была построена модель описывающая классическую частицу с линейным законом дисперсии (1).

$$S[x^\mu(\tau), p_\mu(\tau), \lambda(\tau), A_\mu(x)] = \int d\tau \left[ (p_\mu + eA_\mu) \dot{x}^\mu - \frac{\lambda}{2} p_\mu p_\nu \tilde{\eta}^{\mu\nu} \right] - \frac{1}{16\pi} \int d^4x F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} \quad (1)$$

В рамках данной модели получены явные выражения для координат и импульсов в двух калибровках и рассчитано спектрально-угловое распределение излучения электрона под действием электромагнитных полей (2).

$$d\mathcal{E}(k) = -e^2 j_\mu^*(k) j^\mu(k), j_\mu(k) = \int_{\tau_1}^{\tau_2} d\tau \dot{x}_\mu e^{-ik_\sigma x^\sigma(\tau)} - \frac{i\dot{x}_\mu}{k_\sigma \dot{x}^\sigma} e^{-ik_\sigma x^\sigma(\tau)} \Big|_{\tau_1}^{\tau_2} \quad (2)$$

Вывод: данный квазиклассический подход действительно позволяет получить явные аналитические выражения для координат и импульсов частицы, а так же спектрально-угловое распределение. Дальнейший интерес представляет рассмотрение динамики и излучения электрона в графене под действием более сложных по своему виду полей, в частности под действием монохроматической волны. А так же решение в рамках данной модели уравнения Дирака или же уравнения Ландау-Лифшица учитывающих реакцию излучения.

## Переход Березинского-Костерлица-Таулеса в двумерных спиновых системах с взаимодействием Дзялошинского-Мория

Носов Павел Алексеевич

Уральский федеральный университет

Овчинников Александр Сергеевич, д.ф.-м.н.

[pavel.nosov@urfu.ru](mailto:pavel.nosov@urfu.ru)

Топологические фазовые переходы в двумерных системах впервые были исследованы в работах Березинского[1], Костерлица и Таулеса[2]. В настоящее время они находят широкое применение в различных областях физики конденсированного состояния, включая гидродинамику, сверхпроводимость и магнитные системы[3]. Общий сценарий перехода Березинского - Костерлица – Таулеса (БКТ) основан на том, что при некоторой температуре топологические дефекты (вихри и антивихри) начинают образовывать связанные состояния. Это приводит к изменению макроскопических свойств системы, например, влияет на вольт-амперную характеристику полупроводников[3].

На данный момент открытым является вопрос о реализации БКТ сценария в магнитных кристаллах, принадлежащих к киральным пространственным группам с отсутствием центра инверсии, например MnSi, CrNb<sub>3</sub>S<sub>6</sub> и др.[4] Данные материалы привлекают повышенное внимание из-за разнообразия наблюдаемых нетривиальных магнитных фаз, из которых наибольший интерес представляют скирмионная фаза и фаза солитонной решетки. Считается, что антисимметричное обменное взаимодействие Дзялошинского-Мория (ДМ) [5] играет ключевую роль в стабилизации этих пространственно-неоднородных структур.

Целью нашей работы было определение механизма реализации топологического БКТ перехода в двумерной спиновой системе с ДМ взаимодействием. Для этого нами была рассмотрена ХУ модель с внутриспоскостным ДМ взаимодействием, которая в рамках квазиклассического приближения описывается гамильтонианом Покровского-Талапова[6]. Критическое поведение в данной модели исследовалось при помощи двух методов: техники бозонизации (дуальность с моделью Тирринга[7]), дополненной формализмом функциональной ренорм-группы (fRG)[8]; и дуальным отображением на модель двумерного кулоновского газа[9].

В работе показано, что в терминах тирринговских фермионов взаимодействие ДМ приводит к добавлению фиктивной постоянной связности, а в модели кулоновского газа – к созданию эффективного электрического поля, действующего на магнитные вихри. С физической точки зрения это означает, что ДМ взаимодействие приводит к разрыву связанных дипольных пар вихрь-антивихрь. Таким образом, происходит разрушение БКТ перехода в данной системе.

Список публикаций:

- [1] V. Berezinskii, // *Sov. Phys. JETP*, 32, 493 (1971).
- [2] J.M. Kosterlitz, D.J. Thouless, // *Journal of Physics C: Solid State Physics*, 6, 1181 (1973).
- [3] J.V. Jose, // *40 years of Berezinskii-Kosterlitz-Thouless theory*, World Scientific (2013)
- [4] J. Kishine and A.S. Ovchinnikov, // *Theory of monoaxial chiral helimagnet*, *Solid State Physics*, vol 66, pp 1 – 130 (2015).
- [5] I. Dzyaloshinskii, // *Sov. Phys. JETP*, 19, 960 (1964).
- [6] V.L. Pokrovsky, A.L. Talapov, // *Phys. Rev. Lett.*, 42, 65 (1979).
- [7] S. Coleman, // *Phys. Rev. D*, 11, 2088 (1975).
- [8] C. Wetterich, // *Phys. Lett. B*, 301, 90 (1993).
- [9] N. Nagaosa, // *Quantum Field Theory in Condensed Matter Physics*, Springer (1999).

## Исследование динамики пробной нуль-струны в гравитационном поле мультиструнной системы

**Осокин Константин Сергеевич**

*Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского*

*Леяков Александр Петрович, к.ф.-м.н.*

*Oxygen93@ya.ru*

Одно из направлений теории струн состоит в исследовании роли одномерно-протяженных объектов в космологии. Калибровочные Теории Великого Объединения предсказывают возможность образования в процессе фазовых переходов в ранней Вселенной одномерных топологических дефектов, получивших название космических струн [1]. В работе [2] было показано, что наличие таких объектов во Вселенной не противоречит наблюдаемому микроволновому реликтовому излучению. Также не исключается, что космические струны могли сохраниться до современной эпохи и могут быть наблюдаемыми.

Приближение нуль-струн – модель теории струн, согласно которой точки струны взаимодействуют лишь с окружающим их гравитационным полем, но не друг с другом [3]. Исследование движения пробной нуль-струны в гравитационном поле замкнутой нуль-струны постоянного и переменного радиуса показало наличие для пробной нуль-струны только «узкой» области, находясь в которой она может взаимодействовать с нуль-струной порождающей гравитационное поле, что говорит о возможности реализации «зернистой» структуры пространства, заполненного газом нуль-струн [4]-[6]. Наличие для каждой пробной нуль-струны попавшей в «зону взаимодействия» аномальных участков траектории, на которых пробная нуль-струна за очень короткий промежуток времени или ускоренно выталкивается на бесконечность или ускоренно притягивается из бесконечности, подтверждает, хотя и косвенно, гипотезу о возможной струнной природе механизма инфляции Вселенной.

В данной работе рассмотрено движение пробной нуль-струны в гравитационном поле мультиструнной системы, состоящей из  $m \times n$  замкнутых нуль-струн, имеющих форму окружности неизменного радиуса и движущихся в одном направлении. Так же проведено моделирование фазовых траекторий движения пробной нуль-струны в поле мультиструнной системы, состоящей из 4 нуль-струн, находящихся на двух параллельных слоях по 2 нуль-струны на каждом.

Функции  $x^a$ , определяющие траектории движения замкнутых нуль-струн, образующих мультиструнную систему, которая движется вдоль отрицательного направления оси  $z$ , имеют вид:

$$t = \tau, \quad \rho = R_i, \quad \theta = \sigma, \quad z = z_j^0 - \tau, \quad (1)$$